

ORIGINAL ARTICLE

SIMULATION OF SOME PARAMETERS OF PLANT WATER RELATION IN MAIZE

KUKORICA NÉHÁNY VÍZHÁZTARTÁSI JELLEMZŐJÉNEK SZIMULÁCIÓJA

ANDA A., LŐKE ZS., SZ. KIRKOVITS M.

ÖSSZEFOGLALÁS

A növény vízháztartására vonatkozó megfigyeléseinket Keszthelyen, az Agrometeorológiai Kutatóállomás területén elhelyezett mikroklíma méréseket is lehetővé tevő nagyobb méretű parcellákon (0,5 ha) végeztük, kukorica jelzőnövényrel. A vízháztartási jellemzőkből a növényhőmérsékletet és a sztóma ellenállást Goudriaan (1977) szimulációs modelljével számoltuk. A modellel előállított mutatók ellenőrzéséhez a két vizsgálatba vont jellemzőt két nedvesség ellátási szinten mértük. Az egyiket a csak természetes csapadék ellátású növények, a másikat a növény vízigénye alapján öntözött állomány képezte. Az öntözési időpontot a vízstressz index alakulása alapján határoztuk meg. 2001 száraz és meleg nyarán 170 mm kiegészítő vízellátásban részesültek növényeink. Eredményeinket egy választott mintanap mutatóinak alakulása alapján szemléltetjük. A modell ellenőrzését egy speciális, szórás jellegű mennyiség számításával végeztük (RMSD).

A modell a száraz kezelés növényhőmérsékletét fél fokos, az öntözöttét 0,3°C-os hibával számította. Ugyanezen vízkezelések sztóma ellenállás becslésénél a nem öntözött növények ellenállásának eltérése 5,9%, az öntözötteké 21% volt. Az öntözött növények ellenállás becslését tovább szükséges finomítani, de ezt a későbbiekben a modell alap-egyenleteibe történő beavatkozással lehet csak megvalósítani.

KULCSSZAVAK: szimulációs modell, sztóma ellenállás, növényhőmérséklet.

ABSTRACT

Investigations on simulation of plant temperature and stomatal resistance in maize by using the microclimate simulation model of Goudriaan (1977) were carried out at Keszthely Agrometeorological Research Station, during the growing season of 2001. The size of plot was 0.5 ha, because of parallel investigations done on the elements of microclimate. To facilitate the validation of the model field observations were measured. Two watering levels, rainfed plots with natural rainfall only, and irrigated plant stand were applied in simulation study. We irrigated the plants by using the amounts of crop water stress index with drop irrigation system. The limit value for watering was the CWSI >0,25. In summer of 2001 the weather was dry and hot. The lack of water was substituted by 170 mm irrigation water on 4 occasions.

To validate the model the root mean square deviation (RMSD) between a number of pairs of simulated and measured microclimate elements was applied. The estimation of plant temperature was very accurate, the error of simulation was below 0.5 degree for noon irrigated plots and 0.3 degree for irrigated ones. The accuracy in stomatal resistance simulation was weaker than that of plant temperature, the error was 5.9 % for non-irrigated, and 21 % for irrigated plots. The estimation of stomatal resistance for irrigated plants need further refinement, but this requires changes in the basic equations of the model.

KEY WORDS: simulation model, stomatal resistance, plant temperature.

DETAILED ABSTRACT

Investigations on simulation of plant temperature and stomatal resistance in maize by using the microclimate simulation model of Goudriaan (1977) were carried out at Keszthely Agrometeorological Research Station, during the growing season of 2001. The original model was modified by Chen (1984) on a larger extent. Some details to make the model-handling easier were also executed locally (Anda et al. 2001). Crucial changes in model construction have not been introduced.

Two watering levels, rainfed plots with natural rainfall only, and irrigated plant stand were applied in simulation study. We irrigated the plants by using the amounts of crop water stress index with drop irrigation system. The limit value for watering was the CWSI $>0,25$. The size of plot was 0.5 ha, because of parallel investigations done on the elements of microclimate. In summer of 2001 the weather was dry and hot. The lack of water was substituted by 170 mm irrigation water on 4 occasions. The watering increased both the assimilatory surface size and vertical distribution of the leaves in different heights of plant.

Daily variation in stomatal resistance was measured with AP4 type diffusion porometer made by the DELTA T Incorporation, In England. The number of repetition was 3 to 5. The measured hourly values were compared to simulated ones on some randomly selected sample days. The plant temperature was measured with infrared thermometer of Ranger II. RTL type. The emissivity was set at 0.96. We produced the diurnal variation in plant temperature by taking samples every hour between 8 and 16 hours on the same days, where stomatal resistance was also measured. To validate the model the root mean square deviation (RMSD) between a number of pairs of simulated and measured microclimate elements was applied. The RMSD is one of the best overall measures of model performance. The estimation of plant temperature was very accurate, the error of simulation was below 0.5 degree, independently on water level. The accuracy in stomatal resistance simulation was weaker than that of plant temperature. The reason of better estimation in plant temperature might have been the difference in methods of measuring the two water-relation parameters. While the plant temperature sampled by infrared thermometer is valid for an area of about 1000 cm², the porometer only provides the resistance of a leaf section of 4 cm².

BEVEZETÉS

A növényi modellek felépítésekor a növény lényeges és meghatározó tulajdonságaiból a legfontosabbakat választjuk ki, mely szelektálással a valóságot leegyszerűsítjük, de csak oly mértékben, amely még nem sérti a növényi élet alap-folyamatait. A mikroklíma szimulációs modelleknél a növényállományok és a felettük elhelyezkedő légkör közti anyag- és energiacsere folyamatokat számszerűsítjük (Jones 1983). Az energia-áramok a mikroklíma alakítása mellett a növényhőmérséklet alakulására is hatással vannak, mely a biokémiai folyamatok intenzitását determinálja. A növény hőmérsékletét az elpárologtatott vízmennyiség szabályozásával tartja szinten, ezért a transzspiráció és a növényhőmérséklet egymástól elválaszthatatlanok. A leadott vizet a sztóma nyílások méretének módosításával, vagyis az itt fellépő ellenállás szabályozásával, a sztóma ellenállással kontrollálja a növény. Ismerve a vízellátás és a növényi produkció közötti szoros és közvetlen kapcsolatot, kísérletünk célkitűzése a növény vízháztartását meghatározó meglehetősen nehezen számszerűsíthető tényezőkből a növényhőmérséklet és a sztóma ellenállás modellel történő előállíthatóságának vizsgálata volt. A meglévő modell típusok közül az óránkénti változás előállítására Goudriaan (1977) ill. a Chen (1984) által módosított mikroklíma szimulációs modell megfelelőnek bizonyult. A modell hazai futtatásához néhány átalakítást nekünk is végezni kellett (Anda et al. 2001, Hunkár 2001), amelyek azonban a modell alap egyenleteit nem érintették.

A MIKROKLÍMA SZIMULÁCIÓS MODELL ELMÉLETE

Mivel a növényállományok függőleges struktúrája nem homogén, az energia további sorsának meghatározásához a növénymagasságot különböző számú rétegre szokás bontani, melyek tulajdonságaik tekintetében már többé-kevésbé homogénnek tekinthetők. A rétegek számát az állomány sajátosságai, valamint a kitűzött cél, a vizsgálni kívánt elem befolyásolhatják (Goudriaan 1977).

A sugárzási energia egy része visszaverődik az állományról, a másikat átveszi az adott réteg (Monsi és Saeki 1953), a harmadikat pedig elnyelik a növények. Az állományok által felvett sugárzási energia később szenzibilis- (H) és látens hővé (λE)

alakul. A növények- és a levegő hő-tárolását, valamint a fotoszintézisben megkötött energiát, tekintettel azok

mértékére, elhanyagoljuk. Ugyanezt a legalsó, talajközeli rétegnél, a talaj hő-tárolásával nem tehetjük meg (Chen 1984). Egy adott rétegben (i) a szenzibilis hő:

(1)

$$H_i = \frac{\rho C_p (T_{ci} - T_{ai})}{r_{ahi}}$$

ahol:

- $T_{ci} - T_{ai}$: növény- és léghőmérsékleti differencia ($^{\circ}\text{C}$),
- r_{ahi} : hőre vonatkozó aerodinamikai ellenállás (s m^{-1}),
 ρ : a levegő sűrűsége (kg m^{-3}),
- C_p : a levegő állandó nyomáson vett fajhője ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$).

A látens hő ugyanebben a rétegben:

(2)

$$\lambda E_i = \frac{\rho C_p (q^*(T_{ci}) - q)}{\gamma(r_{awi} + r_{ci})}$$

ahol:

- $q^*(T_{ci}) - q$: adott levélhőmérsékletre tartozó telítési- és a tényleges vízgőzkoncentráció különbsége (hPa),
- r_{ci} és r_{awi} : az állomány ellenállás és a vízre vonatkozó aerodinamikai ellenállás (s m^{-1}),
- γ : pszichrometrikus konstans [hPa K^{-1}],
- λ : a víz halmazállapot változásához szükséges energia [J g^{-1}].

Az egyenletekben ellenállás jellegű mennyiségek is szerepelnek, melyek minden esetben a tulajdonság átvitel korlátozó tényezőiként foghatók fel (Hunkár 1990). Az egyes rétegek energia nyereségét ill. veszteségét a belépő és a kilépő energiaáramok különbsége adja. A rétegek közti energia áramlásnál fellépő korlátozó tényező a turbulens ellenállás. Az energia terjedése szélcsendben molekuláris diffúzióval, légmozgás jelenlétében turbulens keveredéssel történik.

A modell bemenő paraméterei négy nagyobb kategóriába sorolhatók: a tér- és időbeliséget meghatározó adatok (rétegek száma a talajban és állományban, numerikus kalendárium szerinti nap sorszám stb.)

meteorológiai adatok (referencia szintre meghatározott léghőmérséklet, sugárzás, párányomás, szélsébség), növényállományra vonatkozó függvények és paraméterek (magasság, levélmérete, vízpotenciál CO₂ koncentráció stb.), talajra vonatkozó jellemzők (hővezetőképesség, hőfluxus stb.).

Az output adatok közül jelen tanulmányban kettő, a növény vízháztartását meghatározó mutatót, a növényhőmérsékletet és a sztóma ellenállást, s azok becslési pontosságát vizsgáltuk. A növényhőmérsékletet az alábbi egyenlettel számolja a modell:

(3)

$$T_{c,i} = \frac{T_{a,i} + (H_i - H_{i-1})r_{H,ai}}{\rho C_p}$$

A sztóma ellenállás közelítése

A sztóma ellenállás szimulációja a sztómán keresztül bonyolódó anyagtranszport folyamatok - vízpára és a szén-dioxid – ismeretén alapszik. Kukoricánál a kapcsolat lineáris a nettó szén-dioxid asszimiláció és a levél vezetőképessége között, ha a sztóma alatti üreg szén-dioxid koncentrációja konstans. Az ellenállás szimulálása a fenti összefüggés alapján történt, mivel a nettó szén-dioxid asszimilációra fordított energia levonható a megkötött rövidhullámú sugárzás mennyiségéből (Goudriaan 1977). Az ellenállás minimumhoz közelít, ha a szén-dioxid asszimiláció a telítettségi pont fölé emelkedik (Stiger et al. 1977). A nettó szén-dioxid asszimiláció mértékét (F) van Laar et al. (1977) határozta meg empirikus úton:

(4)

$$F = (F_m - F_d) [1 / \exp(R_v / F_m)] + F_d$$

Ahol:

- F_m: a nettó asszimiláció maximuma,
- F_d: a sötét respiráció,
- R_v: a megkötött rövidhullámú sugárzás (LAI-re vetítve).

Az F_m kalkulációjánál a levél korának és a környező levegő szén-dioxid koncentrációjának hatását leegyszerűsítve, az átlagaikkal vettük figyelembe. A nettó szén-asszimiláció és a levélhőmérséklet kapcsolata azonos a környező levegő hőmérsékletétől való összefüggéssel. A sötét respiráció az F_m -0,1-es értékénél található (Goudriaan 1977). A kukoricalevél

ellenállása (r_{level}) végül a következőképpen állítható elő:

(5)

$$F = \frac{1,83 \cdot 10^{-6} (C_e - C_r)}{1,66 r_{level} + 1,32 r_{H,a}}$$

$$\Rightarrow r_{level} = \frac{1,83 \cdot 10^{-6} (C_e - C_r) - 0,783 r_{H,a}}{1,66 + F}$$

Ahol:

- 1,66 : diffuzivitások közti arány (szén-dioxid és víz),
- 1,83·10⁻⁶ : a szén-dioxid koncentráció átváltása kg CO₂ m⁻² -re 20°C-on,
- C_e: külső szén-dioxid koncentráció,
- C_r: feltételezetten szabályzó szerepű belső szén-dioxid koncentráció,
- 1,32: a határreteg szén-dioxid ellenállásának kalkulációjából származó konstans.

Mivel a porométer használatkor az összes, a levélben a vízzel szemben fellépő ellenállást együtt mérjük, a modell által számított levél ellenállást az általunk mért sztóma ellenállással azonosnak tekintjük.

A vizsgálat anyaga és módszerei

Kukorica sztóma ellenállásának és növényhőmérsékletének meghatározására irányuló szimulációs kísérletünket Keszthelyen, az Agrometeorológiai Kutatóállomás területén végeztük 2001 tenyészidőszakában. A mikroklíma szimulációs modell igényeinek kielégítésére a parcellák mérete 0,5 ha volt. A vizsgálni kívánt növényi jellemzőket ezen parcellákról véletlenszerű mintavétellel, 3-5 ismétlésben gyűjtöttük. Középen, sorközben, az állomány 140 cm-es magasságában LI 1000-32 típusú adatgyűjtőt helyeztünk el, amely a mikroklíma elemeit (léghőmérséklet és légnedvesség) 20 s-es intervallumban rögzítette. A standard körülmények között mért, adott állomásra jellemző meteorológiai elemeket a helybeli QLC-50 típusú automata klímaállomás gyűjtötte.

Az alkalmazott kukorica hibrid a rövid tenyészidejű Gazda volt. A vetésére április végén került sor. Kelés után a tőszámot 7 tő m⁻²-re állítottuk be. A növények tápanyag ellátásánál és ápolásánál az egyetem szakembereinek irányításával a helyben szokásos

technológiát követtük. Tekintettel arra, hogy két növény vízháztartási jellemző mutató, a sztóma ellenállás és a növényhőmérséklet alakulását kívántuk modellel szimulálni, elemzéseinket ezért a természetes csapadék ellátás mellett öntözött körülmények között termesztett növényekre is kiterjesztettük. Az öntözést a növény vízigénye alapján végeztük, a vízstressz index folyamatos nyomon követésével. A módszer részleteiben Anda (2001) publikációjában található. A sztóma ellenállást a Delta T műszergyártó cég AP4 típusú porométerével mértük néhány választott mintanapon 8-16 óra között óránként, az egész növény átlagát legjobban közelítő levélszinten és szegmensen. A mintavétel módszertana részletesen Anda et al. (1997) cikkében van. A növényhőmérsékletet RAYNGER típusú infrahőmérővel mértük zavartalan besugárzásnál, óránként, 3 ismételtsben, a szeles periódusokat lehetőleg elkerülve. Egy-egy mérés 20-25 állomány hőmérsékleti mintát tartalmazott 0,96-os emissziós tényező mellett, s az átlag ennek megfelelően mintegy 70-85 növényhőmérsékleti adat átlaga. Az infrahőmérő vízszintessel bezárt szöge 30°, látószöge 8°. Az érzékelt terület nagysága 1 m-rel az állomány fölött, s kb.1,5 m-es célzási távolságot tartva mintegy 1000 cm².

A levélfelületet ill. levél méreteket hetente kezelésként 10-10 mintanövényen mértük, s a Montgomery képlet felhasználásával a levélfelület-index-el (LAI) számszerűsítettük.

A modell működés ellenőrzésére egy speciális szórás jellegű mennyiséget az RMSD-t használtuk, mely a szimulált (S) és mért (O) értékekkel az alábbi egyenletből számolható:

(6)

$$RMSD = \left[\frac{\sum (O - S)^2}{n} \right]^{0,5}$$

Az RMSD az egyik legelterjedtebb modellt ellenőrző paraméternek tekinthető (Willmott 1982).

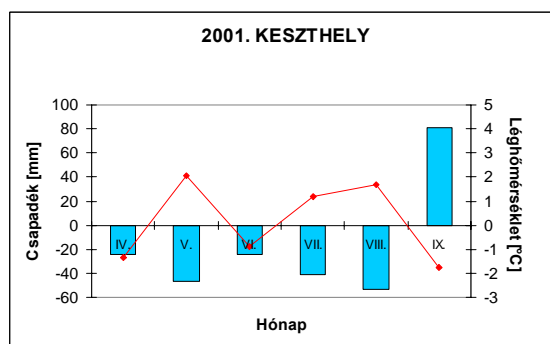
EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE A KÖVETKEZTETÉSEKKEL

Az öntözés és az időjárás 2001-ben

2001 tenyészidőszaka az átlagosnál lényegesen szárazabb volt, ahol a tenyészidőszak során a sokéves átlagnál 28,2%-kal kevesebb csapadék hullott. Az egyes hónapok havi összegeit tekintve csak egyetlen hónapban, szeptemberben volt pozitív

a 30 éves átlagtól való eltérés, ekkor viszont jelentősen, mintegy 80 mm-rel több eső esett a szokásosnál (1. ábra). A vizsgálatunkba vont Gazda kukorica hibrid tenyészidőszakát figyelve, ez a szeptemberi vízbőség inkább káros volt, mint hasznos, mivel a növény érése után érkezett. A tenyészidőszakon belül, a kukorica fejlődésének kritikus szakaszaiban volt a legnagyobb a vízhiány (május, augusztus, július). Ezek a száraz periódusok meleg időjárással párosultak, amikor is 1,2-2°C-kal meghaladta a havi középhőmérséklet a klímanormál értékét tovább rontva a kontroll állomány életfeltételeit.

1. ábra. A szimulált és mért növényhőmérséklet 2001 július 31.



A növények vízhiányát a vízstressz index napi meghatározásával – a növényi tulajdonságok és a meteorológiai elemek alapján – még a szemmel látható tünetek megjelenése előtt jeleztük. A rendkívüli szárazság miatt 4 alkalommal jeleztek vízhiányt a növények. Az öntözéssel kiegészített vízmennyiség 2001-ben 20 mm-rel maradt el a vizsgálati terület sokéves átlagos csapadékösszegétől, mely meglehetősen víztakarékos vízutánpótlást jelez. Az öntözés fontosabb jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A kiöntözött vízmennyiség és az öntözés időpontjai 2001-ben

Öntözési időpont	Vízadag [mm]	Öntözés intenzitása [mm/óra]
Június 28.	60	6-8
Július 15.	35	6-7
Augusztus 1.	18	6
Augusztus 8.	56	6-8
Összes víz	169	

A szimuláció eredményeinek értékelése

A mikroklíma szimulációs modell output paraméterei közül a vízháztartást alapvetően meghatározó sztóma ellenállás és a növényhőmérséklet adatait teljesen kifejezett állományban állítottuk elő a 2001 júniusának végétől augusztus második dekádjáig tartó időszakban. A vizsgált növényi jellemzők – és a mikroklíma - mérésére és szimulációjára egyaránt alkalmas mintanapoknak a derült, szél- és csapadéktalan időjárási feltételű napok bizonyultak, az állomány mikroklíma sajátosságainak közismert érzékenysége miatt. A számos mikroklímát is determináló növényi paraméter közül az egymással szoros kapcsolatban lévő növényhőmérséklet és

sztóma ellenállás alakulását vizsgáltuk a mintanapokon 8-tól 16 óráig, óránként. A növényhőmérsékletre azért esett a választásunk, mert a vízháztartás mellett a növény hőmérséklete az összes többi biokémiai folyamat intenzitásának meghatározója. A sztóma ellenállás alakulása sokak által meglehetősen ellentmondásos eredményekkel lezáruló vizsgálatok tárgyát képező folyamat, még napjainkban is. Pedig a növény gázcsere-nyílásainak nyitottsága, ellenállása nemcsak a kidiffundálódó vízgőz mennyiségét, a vízvesztést, hanem a növénybe beáramló, fotoszintézis alapanyagot képező CO₂-ot is meghatározza. A kettő közötti egyensúly kialakítása a jó produkció egyik alapfeltételét jelenti.

2. táblázat Statisztikai értékelés eredményei (T_c a növényhőmérsékletet, R_s a sztóma ellenállást jelöli)

	Kontroll		Öntözött	
	T _c	R _s	T _c	R _s
RMSD	1,051	0,906	0,882	0,551
Regressziós együttható	1,017	0,795	1,010	1,067
A populációs regressziós együttható 95%-os konfidencia intervalluma	[0,991; 1,043]	[0,503; 1,086]	[0,986; 1,034]	[0,817; 1,316]
Determinációs együttható (R ²)	0,999	0,831	0,999	0,924
A regressziós együttható standard hibája	0,011	0,126	0,010	0,108
A reziduumok (hibák) szórása	0,980	1,059	0,882	0,599

A kukorica növényhőmérsékletének és sztóma ellenállásának szimulációs modellel történő előállíthatóság vizsgálatához az elemezett mikroklíma paraméterek óránként mért értékeit referenciaértéknek tekintve összevetettük a modell által számítottakkal. A szimuláció értékelését egy választott mintanapon, július 31-ére kapott eredmények alapján szemléltetjük. A mintanap meglehetősen meleg volt, a növényhőmérsékletek reggel 8 óra körül mindkét vízkezelésben meghaladták a 21°C-ot, magas napállásnál pedig a 30°C-ot. Az öntözés a növényhőmérséklet napi átlagát több mint fél fokkal csökkentette. Az öntözés növényhőmérsékletet módosító hatása független volt a mérés időpontjától. A szimuláció során az öntözés növényhőmérsékletre gyakorolt hatása meghaladta a méréssel kapott értéket, s napi átlagban az öntözés hatására a növényhőmérséklet a vizsgált mintanapon 0,9°C-kal csökkent. A növényhőmérséklet szimulációja pontosabb eredményt adott, mint - az amúgy is nehezen és nagy hibával terhelt mérhető – sztóma ellenállás (2. ábra). Vízkezeléstől függetlenül mindkét vizsgált paraméter mért és

becsült értékeinek eltérési iránya napszakfüggő. A délelőtti órákban alulbecsült, míg a délután során felülbecsült a modell a mintanapokon. Napi átlagban a délelőtti és délutáni eltérő irányú változások kiegyenlítik egymást, ezért azokat sem konkrét értékkel, sem százalékosan nem közöljük. A legkisebb és legnagyobb eltérés mértéke a két kezelésnél - egy-egy óráérték esetében - 0,09°C (0,32%), ill. 0,69°C (6,53%) volt.

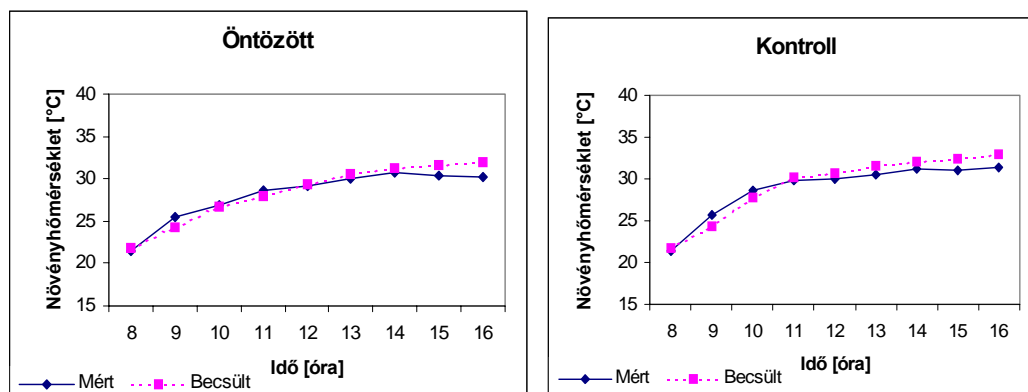
A növényhőmérséklet szimuláció az öntözött kezelésben sikeresebb volt, mint a kontroll állomány esetében. A mért és szimulált értékek eltérése a napi átlagban öntözött kezelésnél 0,26°C, míg a kontroll állományban 0,45°C-t érte el. Az öntözést, mint kezeléshatást kifejező kontroll és öntözött állomány növényhőmérséklet differenciájának mért napi 0,72°C-os eltérését a modell 0,91°C-ként szimulálta.

A sztóma ellenállás mérése, a gázcsere-nyílások működésének komplexitása miatt számtalan hibával terhelt. Irodalmi adatok szerint a sztóma ellenállás mérésekor tapasztalt 30%-os hiba egyáltalán nem tekinthető ritka kivételnek (Pearcy et al. 1991). Az

elem meghatározásakor ezért ajánlatos nagyon pontosan behatárolni a mérés helyét, hogy ezzel is az egy növényen, ill. az egy levélen belüli nagy

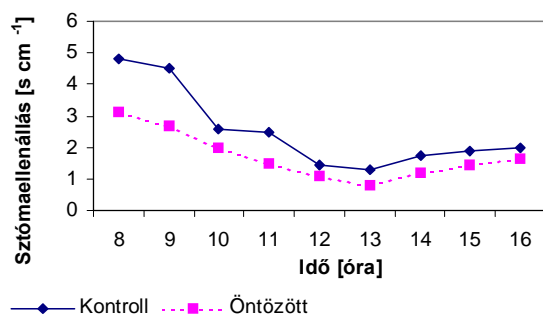
variabilitás okozta eltérést lehetőleg csökkentsük (Anda et al.1997).

2. ábra A szimulált és mért növényhőmérséklet 2001 július 31.



Mérések szerint mintanapunkon az öntözés a sztóma ellenállás napi átlagát a növényhőmérsékletnél jóval jelentősebben, 36,2 %-kal csökkentette (3. ábra). A többlet víz hatása főképpen alacsony napállásnál volt jelentős, a dél körüli órákban a két eltérő vízkezelésnél meghatározott értékek jobban közelítettek egymáshoz.

3. ábra Az öntözés hatása a sztóma ellenállás napi változására (2001 július 31)

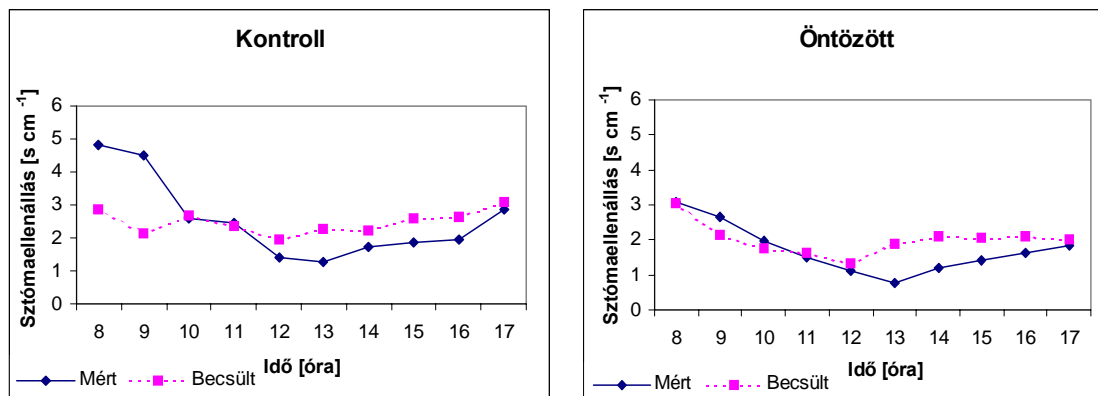


A sztóma ellenállás, mint szinte minden vízforgalommal szoros és közvetlen kapcsolatú elem szimulációja, a növényhőmérsékleténél nehezebbnek

bizonyult. A növényhőmérsékletnél meghatározottakkal azonos módon, a sztóma ellenállásnál is - mindkét vízellátási szinten –napszak függő a mért és becsült ellenállás eltérésének iránya: 11 óráig a modell által számolt sztóma ellenállás alatta marad a mért értékeknek, majd délutánra a kapcsolat iránya ellenkezőjére változik, s a becsült sztóma ellenállás magasabb a mérténél. A modell a sztóma ellenállást a kontroll kezelésben szimulálta pontosabban, ahol napi átlagban mindössze $0,1 \text{ s cm}^{-1}$ -rel (5,93%) becsülte alá a mért értékeket. Az öntözött állományban $0,29 \text{ s cm}^{-1}$ -es (21,01%) volt az eltérés.

Az öntözést, mint kezeléshatást leginkább kifejező mutatót, a két eltérő vízellátású állomány mért mintanapi 36,2%-os sztóma ellenállás eltérését 29,2%-ként adta vissza a mikroklíma modell (4. ábra). A napi változást tekintve a mért értékek szélesebb határok közt mozognak, mint a szimulációs ellenállások. A kontroll állományban reggel mért becsülnél jóval magasabb ellenállás alakulásra magyarázatot eddig nem találtunk. A jelenség nemcsak a bemutatott mintanap esetében lépett fel, hanem a többi mérési napon is jelentkezett. Az öntözött állományoknál a reggeli órák becslése pontosabbnak bizonyult.

4. ábra A szimulált és mért sztóma ellenállás változásai 2001 július 31-én



A két vízháztartási mutató becslési pontosságának összehasonlítása nem lenne szerencsés, mivel a két eljárás mérésének módszere alapvetően eltérő. A sztóma ellenállás meghatározása pontszerű mintavétellel történt, s az általunk alkalmazott infrahőmérővel mért növényhőmérséklet pedig állományra vonatkozó, integrált hőmérsékleti értéket állít elő.

A modell verifikálása

A vizsgálat során eldöntendő kérdésként merült fel, hogy a mért és a szimulált értékek azonosnak tekinthetők-e. Ennek vizsgálatához a mért (O) és a szimulált (S) értékek közötti $S=a+bO$ lineáris regresszió origón átmenő változatát alkalmaztuk. Ugyanis, ha a mért és a szimulált értékek egyenlők lennének, akkor az (O,S) pontok az $y=x$ egyenesre illeszkednének. Így ha az origón átmenő regressziós egyenes együtthatója nem különbözik szignifikánsan

egyőtől ($P=5\%$), akkor nyilván a szimulált és a mért értékek statisztikailag egyenlőnek tekinthetők.

Mivel az adatainkra illesztett regressziós egyenesek tengelymetszete nem különbözött szignifikánsan a nullától 5%-os szinten, ezért origón átmenő regressziós egyeneseket illeszthettünk. A regressziós együtthatók meredeksége nem különbözött szignifikánsan egyőtől ($P=5\%$), amint ezt a 2. táblázat 95%-os konfidencia intervallumai mutatják, ezért a mért és a szimulált értékek gyakorlatilag azonosnak tekinthetők.

A statisztikai analízis eredményei alátámasztották eredeti feltevésünket, miszerint a modellel előállított két számított vízháztartási mutató alkalmas a növény-víz kapcsolat hazai körülmények közötti meghatározására. A sztóma ellenállás nagyobb hibája módszer-eredetű, melyet valószínűleg a pontszerű mintavétel okozhatott.

IRODALOM

- [1] Anda, A. 2001: Az állományklímát befolyásoló néhány eljárás mikrometeorológiai elemzése. Akadémiai Doktori Értekezés.
- [2] Anda, A., Páll, J. and Löke, Zs. 1997: Measurement of mean stomatal resistance in maize. *Időjárás* Vol. 101 No.4 p: 275-288.
- [3] Anda, A., Löke, Zs. és Burucs, Z. 2001: Öntözött és természetes csapadékelátású kukorica mikroklímája. *Növénytermelés*. 50, 2-3: 249-260.
- [4] Chen, J. 1984: Mathematical analysis and simulation of crop micrometeorology. Ph.D. Thesis Wageningen University.
- [5] Goudriaan, J. 1977: Crop micrometeorology: a simulation study. Simulation monographs, Pudoc, Wageningen.
- [6] Hunkár, M. 1990: Kukoricaállomány mikroklímájának szimulációja. *Időjárás*, 94.pp:221-229.
- [7] Hunkár, M., 2001: Moisture supply and microclimate interactions with productivity potential. poster in EGS XXVI. General

- Assembly, 25-30 March, 2001. Nice, France. Published in Geophysical Research Abstracts. Vol. 3, 2001.
- [8] Jones, H.G. 1983: Plants and microclimate. Cambridge University Press, Cambridge
- [9] van Laar, H.H., Kremer, D., De Vit, C.T. 1977: Maize. In Crop Photosynthesis: Methods and Compilation of Data Obtained with a Mobile Field Equipment. Agric. Res. 865. Pudoc, Wageningen p: 12-22.
- [10] Monsi, M. and Saeki, T. 1953: Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jap. J. Bot. 14: 22-52.
- [11] Páll, J., Anda, A., and Hunkár, M. 1998: Különböző vízellátottságú kukoricaállományok mikroklimájának szimulációja. Acta Geographica Debrecina Tom. XXXIV. p: 41-60.
- [12] Pearcy, R.W., Ehleringer, J., Mooney, H.A., and Rundel, P.W. 1991. : Plant Physiological Ecology. Chapman and Hall, London-New York-Tokyo p: 457.
- [13] Stieger, C.J., Goudriaan, J., Bottemanne, F.A., Birnie, J., Lengkeek, J.G., Simba, L. 1977. Experimental evaluation of a crop microclimate simulation model for Indian corn (*Zea mays*). Agric. Met. 18: 163-186.
- [14] Willmott, C. J., 1982: Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Am. Meteorol. Soc., p: 1309-1313.

Anda Angéla^{1*}, 1anda-a@georgikon.hu,

Lőke Zsuzsanna¹, loke@georgikon.hu,

¹Talajtani és Vízgazdálkodási Tanszék, Keszthely

Sz. Kirkovits Magdolna², kirmag@georgikon.hu,

²Gazdaságmatematika, Statisztika és Informatika Tanszék

Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar,

Tel: +36-83-311-290; Fax: +36-83-311-233,

